心理学报 2018, Vol. 50, No.3, 260−269
Acta Psychologica Sinica DOI: 10.3724/SP.J.1041.2018.00260

问题先导下语义相似性和原型难度对原型启发的影响*

杨文静[1] 靳玉乐[2] 邱 江[1] 张庆林[1]

([1]西南大学心理学部; [2]西南大学教育学部, 重庆 400715)

摘 要 采用现实生活中的科学发明事例, 通过两个研究探讨了问题先导下的原型启发促发顿悟的机制。实验 1 采用简单原型材料, 利用"先问题"范式探讨了问题先导下的原型启发促发顿悟的关键认知过程, 结果发现问题激活率可以解释问题解决正确率 89.3%的变异。实验 2 采用 3 种不同难度的原型材料, 用"先问题"范式和被试自我报告问题和原型中关键词的方式探讨问题自动激活的机制。结果发现原型和问题关键词的提取对问题激活率有显著影响, 而原型和问题关键词之间的语义相似性与问题激活率显著相关。研究表明, 问题激活是现实生活中广泛存在的问题先导下的原型启发促发顿悟的关键认知过程。原型的特征性功能和问题的需求性功能之间的语义相似性是问题自动激活的机制。

关键词 创造性; 顿悟; 科学发明; 原型启发; 语义相似性

分类号 B842

1 引言

创造性思维作为创造性的核心, 研究者们对这一问题进行了大量探索。顿悟是实验室中探索创造性思维过程的一种重要方式, 研究者们采用不同实验材料和范式对顿悟的认知神经机制进行探讨, 但其机制仍没有一致的结论(Kounios & Beeman, 2014)。早期的顿悟研究采用双绳问题(Maier, 1930), 蜡烛问题(Duncker, 1945), 九点问题等(Scheerer, 1963)。但由于这些问题很难界定顿悟发生的瞬间, 因此很难研究顿悟发生那一瞬间前后的认知活动。随后产生出一系列新的顿悟测试范式：如远距离联想测试(Bowden, Jung-Beeman, Fleck, & Kounios, 2005), 谜语任务(Luo & Knoblich, 2007; Luo & Niki, 2003), 及具有深层和浅层含义的中国字谜任务(Qiu et al., 2010), 测试范式和材料的发展使得研究者们可以在实验室中对顿悟这种难以把握的认知过程有深入的理解。但这些实验材料和实验范式都与现实生活中真正的科学发明问题相似之处甚少, 材料的生态效度有待提高(McCaffrey, 2012)。同时, 这些材料都属于知识贫乏领域, 撇开了知识经验的作用, 但真正的科学发明创造是离不开知识的。因此这些测试问题很难应用于知识丰富领域, 比如科学发明中的顿悟问题, 解决知识丰富领域的问题需要特定领域的知识(Schauble, 1996)。

对于顿悟的理论, 目前比较有影响的有"表征转变"理论(The Representation Change Theory)和"进程监控"理论(The Progress Monitoring Theory) (Knoblich, Ohlsson, Haider, &Rhenius, 1999)。"表征转变"理论认为, 人们在解决顿悟问题时, 首先根据题目所提示的表述方式进行问题表征, 从而在所提示的问题空间里进行答案的搜索。由于人们开始采用了不正确或不完整的问题表征方式, 所以不能有效解决问题。这时就应该寻找一个新的不同于现

收稿日期: 2017-03-17

* 国家自然科学基金(31600878; 31470981), 中央高校基本科研业务经费一般项目(SWU1509451), 中共中央宣传部文化名家暨"四个一批"人才资助项目, "高校拔尖创新人才培养的国际经验及改革研究"。

通信作者: 张庆林, E-mail: zhangql@swu.edu.cn; 杨文静, E-mail: yangwenjing@swu.edu.cn

在的问题表征方法，这就需要从在错误问题空间中的搜索转变为在元水平问题空间进行问题搜索，找到新的合适的问题表征方法，从而最终解决顿悟问题(Kaplan & Simon, 1990)。而“进程监控”理论认为，个体在解决问题时，会根据需要达到的问题目标状态，制定一些内在标准来实时监控每一步的有效性，一旦该行为没有缩短当前状态与目标状态间的距离，就会产生一种内驱力，促使继续寻找新的能够不断逐步接近“目标”的“手段”。问题空间太大，所以人们不能找到有效的启发来引导和限制自己的搜索空间，这两个理论得到了许多研究的支持(Knoblich et al., 1999; Öllinger, Jones, Faber, & Knoblich, 2013; Martinsen, Furnham, & Hærem, 2016)。从认知过程上看，顿悟包含两个方面，一是旧的无效的思路如何被抛弃(即打破思维定势)，二是新的有效的问题解决思路如何实现(新异联系的形成) (罗劲, 2004)。表征转变和进程监控理论都更多关注如何打破思维定势。表征转变理论没有详细说明人们从错误问题空间转到元水平问题空间后，如何找到正确的问题空间 (McCaffrey, 2012)。现实生活的实例和研究表明启发法在从元水平问题空间找到正确的问题空间的过程中发挥着重要作用(Luo et al., 2013; 张庆林, 田燕, 邱江, 2012)。进程监控理论并没阐明人们在放弃那些不能逐步接近目标状态的方法之后，是如何探测到有效的能够不断逐步接近“目标”的“手段”从而产生顿悟。启发法被证明是获得顿悟的一种有效方法(Luo et al., 2013)。在科学发明创造的过程中，经过了漫长的对答案的思索之后，科学家们的顿悟往往是在某一个启发原型被激活以后发生的。例如鲁班受到茅草启发发明锯齿，人们受到鸟的翅膀构造的启发设计了机翼等。激活相应原型为重新指引问题解决方法搜索的方向和克服思维定势提供了关键的启发信息。研究者们采用科学发明事例进行研究，探讨了科学发明中原型启发下顿悟的认知神经机制(Ming, Tong, Yang, Qiu, & Zhang, 2014; 张庆林等, 2012)。

根据原型启发理论，在解决顿悟问题的过程中，如果能够在大脑中激活恰当原型及其所包含的“启发信息”，那么顿悟就能够发生(张庆林, 邱江, 曹贵康, 2004; 张庆林等, 2012)。以往研究采用“四等分问题”证明了原型启发能有效促进顿悟问题解决，而原型激活是原型启发的关键(曹贵康, 杨东, 张庆林, 2006)。但先前的研究都采用“先原型范式”，探讨了被试如何从多个表面无关的原型中找到与当前问题表面无关，但能够帮助解决当前问题的原型(Luo et al., 2013; Ming et al., 2014)。但现实生活中的原型启发促发顿悟的情景往往是个体先遇到问题，思索答案不得其解，然后偶然遇到原型材料，将原型和储存在大脑中的问题连接起来最终解决了问题。在这种问题先导的情景下，原型启发促发顿悟问题解决的核心认知过程是什么呢？个体如何把当前原型和储存在大脑中的问题连接起来呢？先前研究采用“先原型范式”，通过标识为被试提示出原型的特征性功能，让被试注意到原型的特征性功能，这样有利于顿悟(张庆林等, 2012, Hao et al., 2013)。但如果在没有提示的情况下，被试顿悟了，他们是否是把握了原型的特征性功能呢？被试又是依据什么信息将原型和问题连接起来的呢？目前没有研究详细探讨这些问题。其次，以往有很多研究发现寻找到事件之间潜在的语义相似性，即便在表面不相似的情况下，是发明创造中类比推理的一种有效方式(Green, Kraemer, Fugelsang, Gray, & Dunbar, 2012)。先前研究采用“先原型范式”发现问题和原型中的功能语义相似度对原型激活率和问题解决正确率有显著影响(张庆林等, 2012, Hao et al., 2012)。但不清楚在问题先导下的情况下，被试是如何有效的激活与当前原型相关的储存于大脑中的科学问题的。探讨这一现实生活中经常发生的现象的认知机制具有重要意义。最后，先前研究都采用简单原型材料，但现实生活中的原型实际包含了冗余干扰信息，且不一定是用文字材料总结出来呈现给个体的，那么在这样的情景下，被试又是如何有效的将原型和问题连接在一起的呢？本研究通过两个研究来探讨问题先导下的原型启发促发顿悟的核心认知过程及其机制。实验 1 首先采用科学发明问题来探讨问题先导下的原型启发的核心认知过程，实验 2 采用被试自我报告的方式，在 3 种不同难度的原型材料中探讨问题激活的机制。

2　实验 1：问题先导下的原型启发效应的认知过程

本研究利用现实生活真实的科学发明问题材料，采用“先问题范式”探讨现实生活中经常发生的问题先导下的原型启发促发顿悟的核心认知过程。

2.1　实验方法

2.1.1　被试

招募西南大学本科生或研究生 48 名参与实验(男, 22 名; 女, 26 名)，平均年龄为 22.3 ± 0.34 岁，

所有被试均未参加过类似的实验，不熟悉科学发明实验材料。所有被试的视力或矫正视力正常，实验结束后获得一定的报酬。

2.1.2 实验材料

从《科学发明创造实验问题材料库》(朱丹，罗俊龙，朱海雪，邱江，张庆林，2011)中选取 10 道题目，为了更好的考察原型启发效应，我们选择无原型情况下问题较难(正确率小于 0.4)，且原型启发量较大(在原型启发条件下问题解决的正确率提高的比率为 0.6)的题目。这些实验材料的参数通过前期研究得到(朱丹等，2011)。

2.1.3 实验流程

实验流程如图 1 所示。实验分为两个阶段，首先是问题学习阶段。刺激的流程如下：首先屏幕中央呈现一个 1 s 的注视点，接着呈现一个科学发明问题 40 s 让被试理解学习，问题呈现之后询问被试是否学习过解决该问题的方法，学过就按“F”键，没有学过就按“J”键，用来排除先前知识经验的干扰。按照这样的流程学习完 10 道科学发明问题。问题学习之后是测试阶段：屏幕中央先呈现一个注视点 1 s，然后呈现一个原型材料 60 s，要求被试在看到原型的时候积极思考，是否想到当前原型可以帮助其解决先前学过的什么问题。若想到了就按“F”键，并在答题纸上写下想到的问题，并写出解决这一问题的方法。没有想到就按“J”键，程序自动进入下一原型的学习。重复这样的流程，直到被试看完 10 个原型材料。

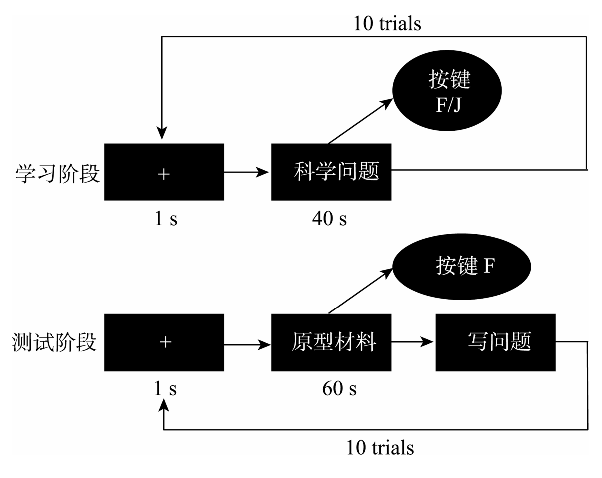


图 1 实验流程图

2.2 实验结果

2.2.1 计分方式

主试对被试写出的答案进行 0、1、2 的评分，如果被试没有想到正确的问题计 0 分；看到原型时想到的问题正确计 1 分，表示被试成功激活了问题，如果被试不仅想到了正确的问题，还想到了正确解决该问题的方法计 2 分，表示被试不仅激活了问题，还成功利用原型解决了问题。计分前，将被试在学习阶段按“F”键(表示之前有过该问题的相关知识)的题目排除。

2.2.2 数据结果

对被试问题解决的正确率和问题激活率进行统计分析，问题解决的正确率指被试得 2 分的题目数量，而问题激活率的得分则是将被试得 1 分和 2 分的题目相加。结果显示，所有被试的问题解决正确率为 0.69 ± 0.079，而问题激活率为 0.74 ± 0.077。用问题激活率作为自变量，问题解决正确率为因变量做回归分析，R^2 = 0.893, p < 0.001, Beta = 0.945, p < 0.001。结果说明问题激活率可以解释问题解决正确率 89.3%的变异，说明问题激活是问题先导下的原型启发促发顿悟的核心认知过程。

2.3 讨论

本研究采用现实生活中真实的科学发明材料考察了问题先导下的原型启发的核心认知过程，问题激活是问题先导下的原型启发的关键过程，从回归分析的结果来看，问题激活率可以解释问题解决正确率 89.3%的变异。说明只要被试成功将问题和原型连接，那么问题解决正确率也就很高。但问题激活率和问题解决正确率之间并不完全相同，还存在差异，这说明并不是问题激活就可以成功解决问题，问题激活之后还需要被试利用类比推理的原理将当前原型中的结构和功能的关系有效的映射到问题中来，利用原型的特征来解决当前的问题。从原型启发的过程来看，被试要将眼前的原型和 10 个问题中的一个匹配，以往的研究证明这个过程是自动的，直觉的，更具有创造性的过程。而将问题和原型成功匹配之后，将原型中的关键信息用来解决当前问题，这个过程和类比推理的过程相似(曹贵康等, 2006; Ming et al., 2014; Yang et al., 2016)。虽然原型和问题之间不具有表面相似性，但是原型和问题中包含的对象间的关系是可以互相对应的，被试利用结构相似性来解决问题，很多研究表明不是表面相似性，而是结构相似性才是类比推理的关键(Kubricht, Lu, & Holyoak, 2017; Holyoak, & Koh, 1987)。虽然以往的研究采用四等分问题也证明了原型激活是原型启发的关键因素(曹贵康等，2006)，但四等分问题属于知识贫乏的人工问题，张庆林等(2012)采用科学发明材料证明了原型激活是原型启

发的重要因素，但该研究采用的“先原型范式”，并不能说明在现实生活中经常发生的问题先导下的原型启发促发顿悟的认知过程，现实生活中的顿悟往往是个体百思不得其解，然后找到启发，发生了顿悟。本研究用具有较高生态效度的现实生活中的科学发明问题材料，在更符合现实科学发明创造情景的“先问题范式”中证明问题先导下的问题激活是原型启发的关键过程。

那么被试如何将眼前的原型与储存在大脑中的某个问题连接起来呢？也即是问题激活的机制是什么呢？以往研究在“先原型范式”中通过标识出原型的特征性功能来帮助被试发现原型的特征性功能，可以显著影响原型激活率，而原型表征中的特征性功能和问题表征中的需求性功能之间的语义相似性对原型激活也有显著影响(Ming et al., 2014; 张庆林等, 2012)。例如，中国科学家在“神舟六号”航天飞机上天之前被设计“既坚硬(能够承受气压)又要能够弯曲”的宇航服难住了，最后他们在吃煮熟的虾子时，从虾子外壳的“既坚硬又可弯曲的环状结构”中获得启发而解决了这个顿悟问题。该例子中，原型就是被试对于虾子外壳的表征，原型的特征性功能就是“既硬又可以弯曲”，而问题的需求性功能就是被试在头脑中形成疑问，什么样的特征才能满足既硬又可以弯曲这样的目的。当被试将这两个功能连接在一起的时候，被试就可以解决顿悟问题(张庆林等, 2012)。虽然先前的研究通过标识为被试提示出原型的特征性功能，这样有利于顿悟。但在没有提示的情况下，被试顿悟了，他们是否是利用了原型的特征性功能呢？先前的研究也证明了原型的特征性功能和问题的需求性功能之间的语义相似性对原型激活有显著影响，但是被试在实际解决问题中是否是利用这些关键信息将当前原型和先前的问题连系起来的呢？这些问题都还值得探讨。实验 2 采用被试自我报告的方式，考察在问题先导下，被试如何把握问题和原型中的关键信息，如何有效的将问题和原型连系起来。

此外，现实生活中的原型并不是都像实验 1 中用最简洁的语言总结出了原型的特征和功能，现实生活中的原型不仅包含了解决当前问题的关键信息，同时也包含了其它很多冗余干扰信息。那么在不同难度的原型材料下，问题先导下的问题激活的机制是一样的吗？实验 2 同时采用 3 种不同难度的原型材料来系统探讨在冗余信息以及视频原型材料下被试如何有效表征原型和问题材料，成功激活正确的问题，从而解决问题。

3　实验 2：问题先导下的原型启发效应的认知机制

实验 1 证明了问题激活是问题先导下的原型启发促发顿悟的关键认知过程，如果被试成功激活问题，问题就很可能得到解决。那么被试在实际解决问题过程中，如何激活与原型匹配的问题呢？实验 2 采用被试自我报告的方式，探讨问题先导下的原型启发促发顿悟中问题激活的机制。本实验同时采用 3 种不同难度的原型材料，3 种原型材料难度逐渐增加，且更符合现实生活中科学发明情境。

3.1　实验方法

3.1.1　被试

招募西南大学本科生或研究生 47 名参与实验(男，20 名；女，27 名)，平均年龄为 23.4 ± 0.21 岁，所有被试均未参加过类似实验，不熟悉科学发明材料。所有被试的视力或矫正视力正常，实验结束后获得一定的报酬。其中两名被试由于在答案书写上有问题，数据未进入最后的分析。

3.1.2　实验材料

实验材料包括 3 种，第一种是最简单的科学发明原型材料，第二类是在简单的原型材料中加上冗余信息，第三类是为了更符合现实生活中的科学发明情景，采用视频的形式呈现原型材料。简单的科学发明材料直接从《科学发明创造实验问题材料库》(朱丹等, 2011)中选择的 10 道题目，为了保证原型启发的效果最大，我们选择原型启发率较高的 10 道题目，平均启发量为 0.7。每道题目包括科学发明问题和原型两部分，而科学发明问题又包括问题情境和问题。包含冗余信息的科学发明材料是先从《科学发明创造实验问题材料库》中选择 10 道题目，该材料中的每一个题目均包含了原型部分和问题部分(“问题情境”和“提问”)，再在原型部分加入 3 句与原型有关而与原型中关键启发信息无关的信息作为冗余干扰信息。处理前，简单条件和冗余两种条件下题目的难度匹配。

视频形式的原型材料选择过程如下：首先从网上搜索剪辑与原来科学发明材料库中原型材料相对应的视频 16 段。因为我们假设采取视频形式呈现原型，由于难度加大会使启发量降低，为了视频形式呈现的原型仍有一定的启发作用，我们从《科学发明创造实验问题材料库》中选取无原型情况下问题较难(即无原型情况下问题解决的正确率小于 0.4)，且原型启发量较大(大于 0.6)的 33 题为预实验

材料。根据文字材料中对于原型的描述上网搜索剪辑与其表达意义相似的视频材料，最终找到并制作 16 个时长 16 s 的视频(制作成 16 s 时长是因为 16 s 与读一遍由文字形式呈现的原型的平均时间相同)，作为预实验材料。每套测试题目由视频形式呈现的原型和文字呈现的问题两部分组成。采用“一对一”的“原型学习-问题解决” (Luo et al., 2013)的实验范式考察 16 个视频材料的原型激活率、问题解决的正确率、主观报告启发量等指标，为后续使用这些材料打下基础。最终的实验材料从 16 个视频原型和科学问题的配对题目中选出启发量最大的 10 道题为实验材料。每道测试题目包括原型和问题两部分，原型由视频形式呈现，每段视频时间为 16 s，科学发明问题仍以文字形式呈现。

3.1.3 实验设计

实验采用单因素的被试内设计，自变量为原型的类型，分为简单原型条件，冗余原型条件和视频原型 3 种条件。3 种条件在被试内的顺序平衡。

3.1.4 实验流程

本研究采用“先问题范式”进行实验。实验流程如图 2，包括问题学习和测试两个阶段。问题学习：被试需要先学习 10 道科学发明问题。具体的实验流程如下：实验开始为 1 s 的注视点，提示被试实验即将开始。接着呈现一个科学发明问题 40 s，被试此时的任务是认真思考这个问题，40 s 后问题消失，要求被试判断先前是否学习过该科学发明问题。如果学过，就按“F”键，如果没有学过就按“J”键。按键结束后屏幕上出现提示，要求被试写出他们认为解决该问题的关键，用 1 到 3 个关键词表示，写完之后按“S”键进入下一个问题的学习。被试需按照此流程连续学习 10 个科学问题。

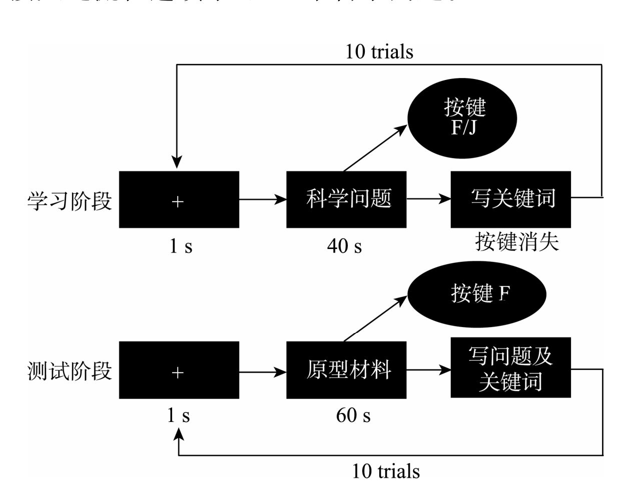


图 2 简单原型条件下的实验流程图

测试阶段：简单原型条件和冗余原型条件的实验流程一样，首先指导语告知被试接下来会依次出现 10 段文字材料，这些材料能帮助他们解决前面一个阶段出现的科学问题。在阅读材料的时候，如果想到该材料可以用来解决第一阶段出现的某一个问题时，就立即按“F”键，在答题纸上写出想到的问题，并且写出这段原型材料中的哪些关键信息(写出 1 到 3 个关键词)让他想到了前面学习过的问题。如果被试没有想到任何第一个阶段出现过的问题，则不按键，但被试仍需要在答题纸上写出他认为的该材料中的关键信息，写完之后按“Q”键，继续学习下一段原型材料。视频原型条件下，给被试一次播放 10 段视频材料，每段材料连续播放两遍(考虑到视频材料的难度，预实验发现原型材料要播放两遍被试才能理解视频的含义)。在看视频的时候要求被试积极思考当前播放的视频是否能帮助他们解决前面出现的某个问题，若想到了前面的某个问题，要求被试在视频播放第二遍的时候按“F”键，视频则会自动停止播放，这时请被试在答题纸上写出他想到的那个问题。同时用词语(1-3 个)在答题纸上写出这段视频材料中的什么关键信息让他联想到了这个问题。若没有想到任何问题，也请被试在答题纸上写出他认为的该材料中的关键信息，写完按“Q”键继续。每个被试需按照上面的流程学习完 10 段视频材料。

3.2 实验结果

3.2.1 计分方式

分别对被试的问题激活和关键词进行了评分。

问题激活的评分：主试依据被试在答题纸上写出的他们在看到原型时所联想到的问题进行 0、1 二级评分。若回忆起的问题大意符合前面出现过的与之配对的问题材料，计 1 分，表示激活了问题；若回忆起的问题与前面呈现的与之匹配的问题不相符，计 0 分。被试得 1 分的题数减去在第一阶段按“F”键(表示之前学过该问题)的题数则为该被试在本次实验中正确激活科学问题的题数。

语义相似性评分：根据被试在学习阶段中是否写出问题关键词和原型的功能关键词进行 0、1 二级评分，写出计为 1 分，没有写出计 0 分。随后对回忆出的问题的需求性功能关键词与回忆出的原型的特征性功能关键词的语义相似性作 1-5 级评分，1 为很不相似，5 为很相似。以上评分由 3 名评分者完成，并取 3 位评分者的平均数进行数据统计分析，评分者一致性系数为 0.89。

3.2.2　结果

(1) 问题关键词的提取对问题激活率的影响

根据假设，对被试是否提取出问题的需求性功能关键词的题目的问题激活率进行差异检验，结果显示：问题的需求性功能关键词能否提取出来的题目的问题激活率差异显著，$t(44)= 27.677$, $p < 0.001$。问题的功能性关键词提取出来的题目的问题激活率($M = 0.78 \pm 0.05$)显著高于问题的功能性关键词没有提取出来的题目($M = 0.11 \pm 0.10$)。

(2) 原型和问题关键词的匹配对问题激活率的影响

实验假设问题激活的关键是问题的需求性功能和原型的特征性功能成功连接，那么是否成功匹配原型的特征性功能和问题的需求性功能关键词对问题激活率有影响。对是否正确匹配原型的特征性功能关键词和问题的需求性功能关键词的题目的问题激活率进行分析。结果显示：原型和问题的关键词成功匹配与否对问题激活率有显著影响，$t(44) = 8.744$, $p < 0.001$。原型和问题的关键词成功匹配的问题激活率($M = 0.92 \pm 0.09$)显著的高于未成功匹配的题目的问题激活率($M = 0.60 \pm 0.02$)。

(3) 原型和问题关键词的语义相似性对问题激活率的影响

将问题的激活率与问题的功能性需求之间的语义相似性进行相关分析，结果显示问题激活率与原型关键词和问题关键词之间的语义相似性显著相关，$r = 0.202$, $p < 0.05$。分别分析 3 种原型条件下问题的激活率与原型和问题之间关键词语义相似性的关系。结果显示：简单原型条件下，问题激活率与原型和问题关键词之间的语义相似性显著相关，$r = 0.31$, $p < 0.05$；包含冗余信息的原型条件下，问题激活率与原型和问题关键词之间的语义相似性显著相关，$r = 0.34$, $p < 0.005$；视频原型条件下，问题激活率与问题和原型关键词之间的语义相似性显著相关，$r = 0.43$, $p < 0.005$。

(4) 原型材料的难度对问题激活率的影响

由于问题激活需要将问题的需求性功能和原型的特征性功能匹配，而 3 种不同的原型材料(简单原型、包含冗余信息的原型、视频原型)，找到原型特征性功能关键词需要排除的冗余信息量不同，它们的问题激活率应该有差异。用重复测量方差分析，对 3 种条件下的问题激活率进行差异检验，发现 3 种条件下的问题激活率差异显著，$F(2,132)= 96.73$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.594$。事后比较发现，简单原型条件下的问题激活率显著高于包含冗余信息的原型条件下的问题激活率，$p < 0.005$；包含冗余信息的原型条件下的问题激活率显著高于视频原型条件下的问题激活率，$p < 0.001$。三种原型条件下关键词的提取率及问题激活率见表 1。

表 1　三种原型条件下关键词的提取率及问题激活率

原型条件	问题关键词	原型功能关键词	匹配	激活率
简单	0.62±0.07	0.66±0.08	0.59±0.15	0.90±0.17
冗余	0.61±0.18	0.58±0.19	0.32±0.18	0.77±0.20
视频	0.66±0.21	0.37±0.15	0.25±0.13	0.35±0.22

为什么 3 种不同原型材料下的问题激活率会有显著差异呢？按照前面的分析，依次对原型的特征性功能关键词的提取，问题的需求性功能关键词的提取及两者的匹配度进行差异检验。结果发现 3 种条件下的问题需求性功能关键词的提取差异不显著，$F(2,132)=1.86$, $p > 0.05$, $\eta_p^2 = 0.027$。3 种条件下被试对原型的特征性功能关键词的提取差异显著，$F(2,132)= 43.84$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.399$。简单原型条件下的特征性功能词的提取显著高于包含冗余信息的原型条件，$p < 0.05$；包含冗余信息的原型条件下的特征性功能词的提取率显著高于视频原型条件，$p < 0.001$。简单、冗余和视频 3 种条件下原型的特征性功能和问题需求性功能关键词成功匹配率差异显著，$F(2,132)=61.665$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.483$。简单和冗余条件下原型的特征性功能关键词和问题的需求性功能关键词匹配率差异显著，$p < 0.001$；简单原型和视频原型条件下的关键词匹配率差异显著，$p < 0.001$，冗余和视频原型条件下的关键词匹配率差异显著，$p < 0.05$。由于 3 种原型材料包含的冗余信息不同，被试要成功提取原型中的关键信息来解决问题，必须排开原型中包含的冗余信息，提取出与解决问题有关的关键信息。提取原型中的特征性功能关键词的难度不同，3 种材料中问题关键词和原型关键词的匹配率也不同，导致 3 种不同材料下的问题激活率不同。

3.3　讨论

本实验采用 3 种不同难度的原型材料，让被试自我报告的方式考察了问题先导下问题激活的机制。以往研究虽然发现原型的特征性功能和问题的需求性功能在原型激活中起着重要作用(Ming et al., 2014; Yang et al., 2016; 张庆林等, 2012)，但并不清楚被试在实际解决问题的过程中是否把握了原型

的特征性功能和问题的需求性功能关键词，然后将二者进行匹配，最终解决当前问题。本实验中，我们要求被试自我报告他认为的解决问题的关键以及原型中让他们想到先前问题的关键信息。实验结果表明，被试能否成功匹配原型的特征性功能关键词和问题的需求性功能关键词对问题激活率有显著影响。而原型和问题关键词的语义相似性对问题激活也有重要作用。3 种原型材料由于原型功能关键词提取的难度不同，问题激活率也不同。本实验通过口头报告证明被试在实际利用原型解决问题的过程中，是通过把握原型的特征性功能关键词和问题的需求性功能关键词，利用关键词之间的语义相似性将原型和问题连系在一起，最终解决问题。

4 总讨论

本研究采用两个实验探讨了现实生活中广泛存在的问题先导下的原型启发促发顿悟的关键认知过程及其机制。实验 1 发现问题激活是问题先导下的原型启发促发顿悟过程的关键认知过程，只要被试成功激活先前问题，将原型和问题进行匹配，被试就很容易成功利用当前原型中的关键启发信息来解决先前的问题。但问题激活率和问题解决正确率之间的差异说明问题激活了，也并不一定总能解决问题，被试将当前原型和先前问题连系在一起后，还需要利用类比推理的原理将当前原型中的结构和功能的关系有效的映射到问题中来，利用原型的特征来解决当前的问题。这也暗示问题先导下的原型启发过程除了问题激活之外，还有一个关键信息的利用过程。实验 2 采用被试自我报告的方式在 3 种具有不同生态效度的原型材料中探讨了问题先导下的原型启发的关键认知过程的机制。结果发现被试在解决问题的过程中，能成功找到问题的需求性功能和原型的特征性功能是问题激活的关键。被试依据原型的特征性功能和问题的需求性功能关键词之间的语义相似性将原型和问题成功连系起来，然后利用原型中特定的结构来解决当前问题。在 3 种不同难度的原型材料中，由于提取原型的关键信息需要排除的冗余信息不同，3 种原型材料难度逐渐增加，原型和问题关键词的匹配率也就降低，因此问题激活率逐渐降低。

4.1 问题激活是问题先导下的原型启发促发顿悟的关键认知过程

实验 1 表明问题激活是现实生活中广泛存在的问题先导下的原型启发促发顿悟的关键过程。这说明只要被试成功将当前原型和先前问题连接在一起，他们就很容易利用原型中包含的关键启发信息来解决储存在大脑中的问题。但这并不代表只要问题激活，被试就一定能成功解决问题，问题激活之后，被试还必须将原型中包含的结构特征映射到当前问题情境中来，利用类比推理的方式来解决当前问题。实验结果表明在问题先导的情况下，原型启发的过程可能包含了问题激活和关键启发信息的利用两个阶段，只有两个阶段成功才能最终保证问题的成功解决。但由于在实验 2 的口头报告中我们并没有询问被试在实际解决问题的过程中是否先激活了问题，再利用原型中的关键启发信息来解决问题，所以问题先导下的原型启发促发顿悟的过程是否包含两个认知过程还需要后续的研究来进一步的探讨。在实验中，我们并没有采用“一对一”的范式，也就是让被试学习一个问题和一个原型，用原型来解决对应的问题，这个过程类似于类比推理的过程。当前研究更关注的被试如何在大量的信息中，成功匹配某个特定原型和先前储存在大脑中的大量问题中的一个，现实生活中高创造性的人总能从大量的信息中捕获有用的原型，促发灵感的产生。实验中，先前问题和当前原型表面不相似，但原型的某个结构特征使得其具有某种功能，而这也是解决当前问题所需实现的功能，原型与问题之间存在结构相似性。很多研究表明结构相似性是被试进行类比推理解决问题的主要方式(Kubricht et al., 2017; Holyoak & Koh, 1987)。被试将原型结构映射到问题的需求性功能上，就可以成功解决当前问题。本研究采用现实生活中广泛存在的问题先导下的原型启发范式，证明了问题激活是问题先导下的原型启发促发顿悟过程的关键。

4.2 问题的需求性功能和原型的特征性功能之间的语义相似性是问题激活的机制

问题先导下的问题解决使得个体可以有效提取和整合头脑中的信息，从而找到问题的答案，也更容易将已知的科学知识与实际的问题相结合(Karantzas et al., 2013; Bergstrom, Pugh, Phillips, & Machlev, 2016)。被试要成功激活问题必须把握问题的需求性功能。擅于用问题来引导自己对原型信息的编码，帮助自己成功的将问题的需求性功能和原型的特征性功能相匹配。同时，被试能否成功排除干扰信息，把握原型的特征性功能也影响了问题的激活。现实生活中的知识总是以各种形式呈现，并且包含了很多冗余信息，被试能否成功排除这些冗

余信息，将关键信息存储在大脑中对帮助其解决问题有重要作用。研究发现注意在创造性思维中的重要作用就体现在选择与问题相关的重要信息，排除无关信息(Yeh, Tsai, Hsu, & Lin, 2014; Zelazo, Carter, Reznick, & Frye, 1997)。

以往有研究通过对原型的特征性功能进行标识，发现帮助被试注意到原型的特征性功能信息对原型激活有重要作用(Hao et al., 2013)，这只能说明原型的特征性功能会影响原型激活。但被试在实际问题解决过程中是如何表征问题和原型的关键信息，依据什么信息将原型和特定的问题连系起来的还值得探讨。本研究中，被试自我报告他们认为解决问题的关键是什么，原型中什么关键信息帮助他们想到了先前的问题。结果显示，被试能成功匹配原型中的结构功能关键词和问题中的需求性功能关键词对问题激活有显著影响，说明被试在表征原型的时候能否把握原型的特征性功能和问题中的需求性功能关键词，并且将二者成功匹配是问题激活的关键。被试自我报告的结果用更直接的方式揭示了被试如何将某个原型和问题连接起来。通过实验结果我们发现被试认为问题的需求性功能是解决当前问题的关键点，被试将问题的需求性功能存在脑海中，用这个信息来引导被试在元水平问题空间中搜索，在遇到恰当的原型时能迅速与当前问题的需求性功能进行结合，从而利用原型解决问题(张庆林等, 2012)。

3 种原型材料由于包含了不同的冗余信息，难度不同，同时也具有不同生态效度。难度越大更能有效模拟现实生活中的创造性情景，包含冗余信息的原型材料和视频原型材料更符合现实生活中的科学发明情景。3 种原型材料下问题的激活率差异显著。实验结果表明，原型的特征性功能的提取在 3 种材料上差异显著，因为 3 种材料包含的冗余信息不同，被试从简单原型材料中提取原型的特征性功能信息比从包含冗余信息的原型材料和视频原型材料中提取原型的特征性功能信息要容易。3 种原型材料下的问题关键词的提取没有差异，而最终影响原型关键词和问题关键词匹配率是由于原型关键词的提取难易不同。而在现实生活中能否成功排除干扰信息找到原型的关键信息决定被试能否有效的利用头脑中的知识来解决问题。

实验结果显示，原型的特征性功能和问题的需求性功能之间的语义相似性在连接问题的需求性功能和原型的特征性功能中起着重要作用。以往的研究发现寻找到事件之间潜在的语义相似性，即便在表面不相似的情况下，是发明创造的一种有效方式(Green et al., 2012)。但该结论是在类比推理的情景中得出的，当前实验情景探讨的是被试如何在头脑中储存的大量信息中有效地提取出表面与当前原型无关的问题，是一种顿悟问题解决的情景。实验结果表明在问题和原型表面不相似的情况下，寻找事物间的潜在语义联系是问题先导下的问题激活的机制。被试先将问题的需求性功能存储在大脑中，问题表面和原型是不相关的，但原型的特征性功能和问题的需求性功能在语义上存在相似性，利用这种相似性，被试能成功的将当前原型与问题进行匹配，成功匹配之后，被试就可以利用类比推理的方式，将原型中的特征映射到问题中来，利用原型的某种结构来解决当前问题。

本研究为问题先导下的原型启发促发顿悟的认知过程提供了实验证据，但还有一些问题有待继续探讨。本实验中只要求被试回答原型和问题中的关键词，并不知道被试在利用原型解决问题的过程中具体思维过程是怎样的，未来的研究可以让被试更详细的报告自己的思维过程，这样有利于更详细的探索问题先导下原型启发的思维过程。

5　结论

本实验利用现实生活中的科学发明实验材料探索了问题先导下的原型启发促发顿悟的关键认知过程及其机制。从研究结果可以得出如下结论：(1)问题激活是问题先导下的原型启发促发顿悟过程的关键认知过程。(2)原型的特征性功能和问题的需求性功能之间的语义相似性是问题激活的机制。

参考文献

Bergstrom, C. M., Pugh, K. J., Phillips, M. M., & Machlev, M. (2016). Effects of problem-based learning on recognition learning and transfer accounting for GPA and goal orientation. *The Journal of Experimental Education, 84*(4), 764–786.

Bowden, E. M., Jung-Beeman, M., Fleck, J., & Kounios, J. (2005). New approaches to demystifying insight. *Trends in Cognitive Sciences, 9*(7), 322–328.

Cao, G. K., Yang, D., & Zhang, Q. L. (2006). Activation of prototypal matters in insight problem solving: An automatic or controllable processing? *Psychological Science, 29*(5), 1123–1127.

[曹贵康, 杨东, 张庆林. (2006). 顿悟问题解决的原型事件激活：自动还是控制. *心理科学, 29*(5), 1123–1127.]

Duncker, K. (1945). On problem-solving (L. S. Lees, Trans.). *Psychological Monographs, 58*(5), 1–113.

Green, A. E., Kraemer, D. J., Fugelsang, J. A., Gray, J. R., &

Dunbar, K. N. (2012). Neural correlates of creativity in analogical reasoning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 38*(2), 264–272.
Hao, X., Cui, S., Li, W. F., Yang, W. J., Qiu, J., & Zhang, Q. L. (2013). Enhancing insight in scientific problem solving by highlighting the functional features of prototypes: An fMRI study. *Brain Research, 1534*, 46–54.
Holyoak, K. J., & Koh, K. (1987). Surface and structural similarity in analogical transfer. *Memory & Cognition, 15*(4), 332–340.
Kaplan, C. A., & Simon, H. A. (1990). In search of insight. *Cognitive Psychology, 22*(3), 374–419.
Karantzas, G. C., Avery, M. R., Macfarlane, S., Mussap, A., Tooley, G., Hazelwood, Z., & Fitness, J. (2013). Enhancing critical analysis and problem - solving skills in undergraduate psychology: An evaluation of a collaborative learning and problem-based learning approach. *Australian Journal of Psychology, 65*(1), 38–45.
Knoblich, G., Ohlsson, S., Haider, H., & Rhenius, D. (1999). Constraint relaxation and chunk decomposition in insight problem solving. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 25*(6), 1534–1555.
Kounios, J., & Beeman, M. (2014). The cognitive neuroscience of insight. *Annual Review of Psychology*, *65*, 71–93.
Kubricht, J. R., Lu, H., & Holyoak, K. J. (2017). Individual differences in spontaneous analogical transfer. *Memory & Cognition, 45*(4), 576–588.
Luo, J. (2004).Neural correlates of insight. *Acta Psychologica Sinica, 36*(2), 219–234.
[罗劲. (2004). 顿悟的大脑机制.*心理学报, 36*(2), 219–234.]
Luo, J., & Knoblich, G. (2007). Studying insight problem solving with neuroscientific methods. *Methods, 42*(1), 77–86.
Luo, J., & Niki, K. (2003). Function of hippocampus in “insight” of problem solving. *Hippocampus, 13*(3), 316–323.
Luo, J. L., Li, W. F., Qiu, J., Wei, D. T., Liu, Y. J., & Zhang, Q. L. (2013). Neural basis of scientific innovation induced by heuristic prototype. *PLoS One, 8*, e49231.
Maier, N. R. F. (1930). Reasoning in humans. I. On direction. *Journal of Comparative Psychology, 10*(2), 115–143.
Martinsen, Ø. L., Furnham, A., & Hærem, T. (2016). An integrated perspective on insight. *Journal of Experimental Psychology: General, 145*(10), 1319–1332.
McCaffrey, T. (2012). Innovation relies on the obscure a key to overcoming the classic problem of functional fixedness. *Psychological Science, 23*(3), 215–218.
Ming, D., Tong, D. D., Yang, W. J., Qiu, J., & Zhang, Q. L. (2014). How can we gain insight in scientific innovation? Prototype heuristic is one key. *Thinking Skills and Creativity, 14*, 98–106.
Öllinger, M., Jones, G., Faber, A. H., & Knoblich, G. (2013). Cognitive mechanisms of insight: the role of heuristics and representational change in solving the eight-coin problem. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, 39*(3), 931–939.
Qiu, J., Li, H., Jou, J., Liu, J., Luo, Y. J., Feng, T. Y., … Zhang, Q. L. (2010). Neural correlates of the “Aha” experiences: Evidence from an fMRI study of insight problem solving. *Cortex, 46*(3), 397–403.
Schauble, L. (1996). The development of scientific reasoning in knowledge-rich contexts. *Developmental Psychology, 32*(1), 102–119.
Scheerer, M. (1963). Problem-solving. *Scientific American, 208*(4), 118–128.
Yang, W. J., Dietrich, A., Liu, P. D., Ming, D., Jin, Y. L., Nusbaum, H. C., … Zhang, Q. L. (2016). Prototypes are key heuristic information in insight problem solving. *Creativity Research Journal, 28*(1), 67–77.
Yeh, Y. C., Tsai, J. L., Hsu, W. C., & Lin, C. F. (2014). A model of how working memory capacity influences insight problem solving in situations with multiple visual representations: An eye tracking analysis. *Thinking Skills and Creativity*, *13*, 153–167.
Zelazo, P. D., Carter, A., Reznick, J. S., & Frye, D. (1997). Early development of executive function: A problem-solving framework. *Review of General Psychology, 1*(2), 198–226.
Zhang, Q. L., Qiu, J. & Cao, G. K. (2004). A review and hypothesis about the cognitive mechanism of insight. *Psychological Science, 27*(6), 1435–1437.
[张庆林, 邱江, 曹贵康. (2004). 顿悟认知机制的研究述评与理论构想. *心理科学, 27*(6), 1435–1437.]
Zhang, Q. L., Tian, Y., & Qiu, J. (2012) Automatic activation of prototype representation in insight: The sources of inspiration. *Journal of Southwest University (Natural Science Edition), 34*(9), 1–10.
[张庆林, 田燕, 邱江. (2012). 顿悟中原型激活的大脑自动响应机制: 灵感机制初探. *西南大学学报*(自然科学版), *34*(9), 1–10.]
Zhu, D., Luo, J. L., Zhu, H. X., Qiu, J., & Zhang, Q. L. (2011). The prototype heuristic effect in the scientific innovation process. *Journal of Southwest University (Social Sciences Edition), 37*(5), 144–149.
[朱丹, 罗俊龙, 朱海雪, 邱江, 张庆林. (2011). 科学发明创造思维过程中的原型启发效应. *西南大学学报 (社会科学版), 37*(5), 144–149.]

The effect of prototype difficulty and semantic similarity on the prototype activation

YANG Wenjing[1]; JIN Yule[2]; QIU Jiang[1]; ZHANG Qinglin[1]

([1] *Faculty of Psychology, Southwest University, Chongqing* 400715, *China*) ([2] *Faculty of Education, Southwest University, Chongqing* 400715, *China*)

Abstract

Amount of historical anecdotes suggest that the heuristic prototype is an effective method to get insight. The prototype heuristic theory suppose that insight obtain when people activate a prototypical example in nature and apply it to the problem at hand. In the real life, people often encounter a problem and then a heuristic prototype help them solve this problem. Some previous studies used the quartering problem and demonstrated that the automatic activation of prototype was the key process of prototype heuristic. However, this relationship was needed to test with real-life scientific innovation problems. Moreover, the mechanism of prototype activation also needed to explore further. Thus, present study used two experiments to test the cognitive mechanism of the prototype activation with real-life scientific innovation materials.

In experiment 1, forty-eight participants were recruited to complete the prototype heuristic task. There were two stages in this task. In the first stage, participants needed to learn ten scientific problems that were randomly presented. They should press some buttons to indicate whether they have some knowledge of these problems. In the second phase, ten prototypes were presented and participants should first write which scientific problem learnt in the first stages could be solved by the current prototype. Then, participants needed to write how to solve the previous scientific problem with current prototype. The dependent variables were the prototype activation and the accuracy of the problem solving. In experiment 2, forty-seven participants completed the prototype heuristic task. The procedure was the same with experiment 1 and the prototype activation was the dependent variable.

In experiment 1, a regression analysis was conducted. In this analysis, the problem activation was the independent variable and the accuracy of the problem solving was the dependent variable. The result of the regression analysis was $R^2 = 0.893$, $p < 0.001$. This result suggested that the problem activation was the key process of problem solving. The results of experiment 2 showed that retrieval of the key words of the scientific problem significantly influenced the association of the problem and the prototype, $t(44)= 27.677$, $p < 0.001$. Moreover, match of the key words of the prototype and scientific problem significantly influenced the activation of the problem, $t\ (44) = 8.744$, $p < 0.001$. In addition, semantic similarity between the key words of the scientific problem and the prototype was significantly correlated with the problem activation, $r = 0.202$, $p < 0.05$. The results also showed that the difficulty of the prototype significantly influenced the problem activation, $F(2,132)= 96.73$, $p < 0.001$, $\eta_p^2 = 0.594$.

In summary, the results suggest that problem activation was the key process in the real-life problem solving enhanced by heuristic prototype. The semantic similarity between the feature function of the prototype and the required function of the problem is the mechanism of the problem activation.

Key words　creativity; insight; scientific innovation; prototype heuristic; semantic similarity